

Mobil Cihazlar Kullanılarak Elde Edilen Eğri Taranmış Görüntülerin Düzeltilmesi

Erdal GÜVENOĞLU^{1*} 

Öz

Mobil cihazların yaygın olarak kullanımı ile birlikte görüntülerin yakalanması ve fotoğraflarının çekilmesi büyük ölçüde kolay hale gelmiştir. Mobil aygıtlar ile elde edilen görüntüler büyük bir oranda eğri taranmış ve düzensiz bir yapıya sahip olmaktadır. Bu eğrilikler görüntü kalitesinin düşmesine neden olmaktadır. Ayrıca elde edilecek görsel bilgilerin anlamlandırılmasını da zorlaştırmaktadır. Bu sebeplerden dolayı, mobil cihazlarda elde edilecek eğri görüntülerin düzeltilmesi önemli bir öncelik haline gelmektedir. Eğri taratılmış görüntülerin düzeltilmesi görüntü işleme tekniklerini ve matematiksel bir alt yapıyı içermektedir. Bu alanda pek çok çalışma yapılmaktadır. Bu çalışmada, eğri taranmış görüntülerin düzeltilmesi için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem, matematiksel bir alt yapıya sahiptir. Beraberinde görüntü işleme tekniklerini içermektedir. Yöntem, mobil cihazlardan rastgele alınan perspektifi bozulmuş görüntülerin düzeltilmesini, kullanıcıya kaliteli ve iyileştirilmiş bir sonuç sunulmasını amaçlamaktadır. Elde edilen sonuç görüntüleri MSE, PSNR, SSIM ve AED gibi hata ölçüm metrikleri ile test edilmiştir. Ölçüm metriklerinden elde edilen MSE 0,0316, PSNR 23,4998, SSIM 0,9331 ve AED 0,1024 değerleri ile başarılı bir sonuca ulaşılmıştır. Önerilen yöntemin literatür çalışmaları ile karşılaştırılması sağlanmış ve iyi bir başarıya sahip olduğu görülmüştür.

Anahtar Kelimeler: Perspektif bozulma, Eğik taranmış görüntü, Görüntü işleme, Mobil tarama.

Correcting Skewed Scanned Images Obtained Using Mobile Devices

Abstract

With the widespread use of mobile devices, capturing and photographing images has become much easier. The images obtained with mobile devices are mostly scanned crookedly and have an irregular structure. These curvatures cause a decrease in image quality. It also makes it difficult to make sense of the visual information to be obtained. For these reasons, the correction of skewed images on mobile devices becomes an important priority. Correction of skewed scanned images involves image processing techniques and mathematical infrastructure. There are many studies in this field. In this study, a method for the correction of skew scanned images is presented. The proposed method has a mathematical background. It also includes image processing techniques. The method aims to correct perspective distorted images taken randomly from mobile devices and to provide the user with a quality and improved result. The resulting images were tested with error metrics such as MSE, PSNR, SSIM and AED. MSE 0.0316, PSNR 23.4998, SSIM 0.9331 and AED 0.1024 values obtained from the measurement metrics have achieved a successful result. The proposed method was compared with the literature studies and found to have a good performance.

Keywords: Perspective distortion, Skew scanned image, Image processing, Mobile scanning.

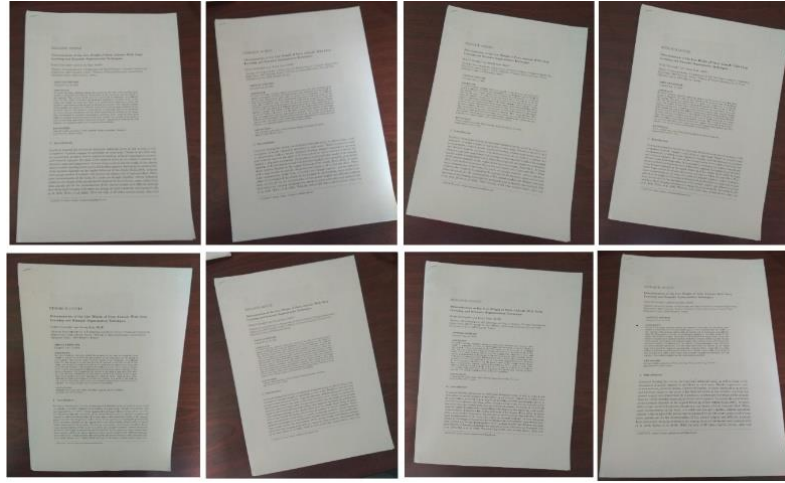
¹Maltepe Üniversitesi, Meslek Yüksekokulu Bilgisayar Programcılığı, İstanbul, Türkiye, erdalguvenoglu@maltepe.edu.tr

¹<https://orcid.org/0000-0003-1333-5953>

1. Giriş

Günümüzde internetin yaygınlaşması ile akıllı telefon ve tablet bilgisayar gibi mobil cihazların kullanımı da artmıştır. Bu aygıtların yaygın olarak kullanımı beraberinde içerik artışına da neden olmuştur. Özellikle Covid 19 pandemi döneminde eğitim öğretim faaliyetleri mobil teknolojiler ile büyük bir ivme kazanmış, çoklu ortam öğeleri yardımıyla belge paylaşımında büyük bir artış yaşanmıştır (Tinungki ve Nurwahyu, 2020). Teknolojik gelişmeler ve Covid 19 pandemisi döneminde mobil cihazların kullanımındaki artış ile standart masaüstü belge tarayıcılara olan ihtiyaç giderek azalmıştır. Pandemi döneminde masaüstü tarayıcılara ulaşım pek çok sektörde oldukça güç hale gelmiştir. Bu durum kullanıcıları mobil teknolojilere yönlendirmiştir. Mobil teknolojiler yardımıyla taranan belgelerde ise istenilen tarama kalitesinin elde edilmesi oldukça güç hale gelmiştir (Jiang ve ark., 2015). Bu sebeple mobil teknolojilerde kaliteli belge tarama, çözülmesi gereken bir problem olarak bilim insanlarının ilgisini çekmiştir (Luqman ve ark., 2014).

Mobil teknolojiler belgelerin taratılması, taşınabilmesi ve paylaşılmasını kolay hale getirirse de, yapılan taramalar masaüstü tarayıcılarda tarandığı kadar düzgün ve kaliteli olmamaktadır (Jiang ve ark., 2015). Tarama yapılan mobil cihazın mesafesi, konumu ve perspektifi taranan belgenin kalitesinde önemli rol oynamaktadır. Tarama kalitesini etkileyen en önemli faktör görüntünün perspektifidir. Kameranın bakış açısına bağlı olarak yapılan taramalarda perspektif bozulma meydana gelmektedir. Görünen şekil ve gerçek şekil arasında meydana gelen farka perspektif bozulma adı verilmektedir (Lu, 2018). Gerçek ve düzgün görüntülerin elde edilebilmesi ancak görüntüleme aygıtlarının nesneye paralel olarak konumlandırılması ile mümkün olmaktadır. Ancak bu paralelliğin sağlanabilmesi her zaman mümkün değildir. Dolayısı ile bir nesne ya da belgenin fotoğraflanması mevcut olan çekim açılarından dolayı sınırlıdır (Wu ve ark., 2019). Meydana gelen perspektif bozulmalar sonraki süreçlerde yapılacak tüm işlemleri etkilemektedir (Xiaoyu Li ve ark., 2019). Örneğin doküman analizinde perspektiften kaynaklı bozulmalar (skew distortion) meydana gelebilmektedir. Bu bozulmaların giderilmesi en önemli ön işlem aşamalarından biridir (Khuman ve ark., 2021). Dolayısı ile görüntüden özellik çıkarma ve segmentasyon gibi pek çok süreçte güvenilirliği ve verimliliği doğrudan etkilemektedir. Bununla birlikte mobil cihaz ile belgelerin taranmasında en çok meydana gelen bozulma türüdür (Doermann ve ark., 2003). Şekil 1' de mobil aygıtlardan elde edilen eğik taranmış bozulmalara örnekler verilmiştir.

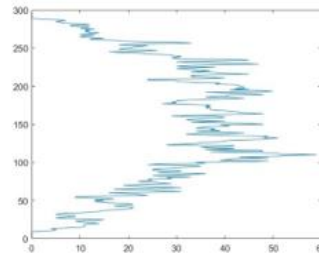


Şekil 1. Eğik bozulma örnekleri.

Eğik bozulmalar perspektiften dolayı meydana gelmektedir. Bu bozulma türlerinin düzeltilmesi için pek çok çalışma bulunmaktadır. Gerçekleştirilen çalışmalar projeksiyon profili, Hough dönüşümü tabanlı, Fourier dönüşümü tabanlı yaklaşımlar ve en yakın komşu yöntemi olarak sınıflandırılmaktadır (Alghamdi ve ark., 2021).

Projeksiyon profili yaklaşımında yatay projeksiyon profili histogramı kullanılmaktadır. Genellikle, bir belgede eğer eğrilik yoksa histogram profilinin maksimum tepe noktalarına sahip olduğu gözlemlenmektedir (Alghamdi ve ark., 2021). Başka bir ifadeyle bu maksimum tepe noktaları karakterlerin bulunduğu bölgeleri göstermektedir. Bu tür yöntemlerde metinlerin bulunduğu bölgeler yatay ve dikey histogramlar yardımıyla tespit edilmektedir (Zohrevand ve ark., 2019). Histogramlarda en yüksek tepe noktalarının belgedeki eğrilik açısına karşılık geldiği varsayılmaktadır (Sonkusare ve ark., 2021). Bu yaklaşımlarda en temel sorun hesaplama sırasındaki maliyetin yüksek olmasıdır (Ouwayed ve ark., 2009). Bunun en temel nedeni, belirli açı aralıklarında tüm belgenin döndürülmesi ve histogramlardaki tepe noktalarının tekrar tekrar hesaplanması gerekliliğidir (Chuang ve Lin, 2021). Bu maliyetin azaltılması için histogram hesaplamalarında satır başlarına işaretçiler yerleştirilmiş ve hesaplamaların tekrar yapılması azaltılmıştır (Ahmed ve ark., 2021; Cai ve ark., 2021). Yatay projeksiyon profili histogramına bir örnek Şekil 2’de verilmiştir. Histograma dikkat edildiğinde belirli bir alanda en yüksek tepe değerlerine ulaştığı görülmektedir. Bu durum belgede bir eğriliğin olabilecek anlamını taşımaktadır.

Giresun Üniversitesi tarafından yolda dört kez (15 Mart, 15 Haziran, 15 Eylül ve 15 Aralık) yayın yapan dergimiz 2020 yılından itibaren TÜBİTAK - Ulakbim Mühendislik ve Temel Bilimler Veri Tabanı (TR Dizin) Dergi Listesinde taranmaktadır.



(a)

(b)

Şekil 2. Örnek projeksiyon profili histogramı (a) Eğik taranmış görüntü, (b) Yatay projeksiyon histogramı.

Hough dönüşümü eğik belge görüntülerinin düzeltilmesi için kullanılan bir başka yöntemdir. Bu yöntemde, her bir siyah pikselin kümülatif etkisi sinüzoidal bir fonksiyon ile gösterilmektedir (Romanengo ve ark., 2022). Bu fonksiyon yardımıyla hough uzayındaki kesişme noktalarına karşılık gelen alanlar işaretlenmektedir. Bu kesişme noktaları metnin alt sınırlarını işaret eden çizgileri temsil etmektedir (Mukhopadhyay ve Chaudhuri, 2015). Çizgi tespiti özelliğinden dolayı eğik belge görüntülerinde eğriliğin tespiti ve düzeltilmesinde kullanılacak yöntemlerden biri olarak kabul edilmektedir. Bu tür yöntemlerde ilk aşamada çizgiler tespit edilmektedir (Teplyakov ve ark., 2021). Ardından bu çizgilerin yatay eksenler boyunca yapmış oldukları açılar hesaplanmaktadır (Boukharouba, 2017; Jundale ve Hegadi, 2015). Son aşamada tespit edilen tüm açılar ortalaması alınarak tüm belge için eğiklik oranı elde edilmektedir (Bafjaish ve ark., 2018). Hough dönüşüm tabanlı yaklaşımlar yüksek doğruluk oranları ile bilinmektedir. Ancak yavaş ve hesaplama maliyetleri yüksektir. Hesaplama maliyetlerinin yüksek olmasının nedeni her bir siyah pikselin Hough uzayına dönüştürülmesinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca görüntü içerisinde gürültülerin olması durumunda eğim açılarının tespit edilmesi güç hale gelmektedir. Ayrıca görüntü içerisinde şekil ve grafik gibi öğelerin bulunması durumunda da düzeltmede kullanılacak aday çizgiler yanlış hesaplanabilmektedir.

Eğik belge dokümanlarının düzeltilmesinde kullanılan yöntemlerden bir diğeri Fourier dönüşüm tabanlı yaklaşımlardır. Fourier dönüşümü ilk olarak (Postl, 1986) tarafından ortaya atılmış ve eğik belge görüntülerinin düzeltilmesi için de ilk olarak (Peake ve Tan, 1997) tarafından kullanılmıştır. Sonraki yıllarda bu dönüşümü kullanan pek çok yöntem geliştirilmiştir (Boiangiu ve ark., 2020; Hu ve ark., 2022; Trstenjak ve ark., 2018). Fourier dönüşümlerinde görüntü dört parçaya ayrılmaktadır. Ayrılan parçaların her biri Fourier büyüklük spektrumuna dönüştürülmektedir. Her spektrumdaki en büyük değerler toplanmakta ve yönlü vektörler hesaplanmaktadır. Bu vektörler içerisinde maksimum değerlere karşılık gelen değerler her bir satırın eğim açısını dolayısı ile belgenin eğim açını vermektedir. Bu tür yöntemler hesaplama açısından maliyetlidir. Bunun nedeni, görüntü içerisinde grafik öğelerin bulunması halinde eğim açısının tespit edilmesinin güç hale gelmesidir.

En yakın komşu yöntemi, belge görüntüsünün eğriliğin tespiti ve düzeltilmesi için kullanılan yöntemlerden biridir (Al-Khatatneh ve ark., 2015). Bu yöntemde belge içerisinde karakterlere ait birbirine en yakın bağlı bileşenler tespit edilmektedir. En yakın komşu bileşenlerin ağırlık merkezleri arasındaki açılar belirlenerek açılara ait bir histogram çıkarılmaktadır. Bu histogramda en yüksek değer görüntüdeki baskın olan açı değerini vermektedir (Mohammad ve ark., 2021). Elde edilen bu açı değeri yardımıyla görüntünün döndürülmesi ve belgenin düzeltilmesi sağlanmaktadır.

Mobil aygıtlar ile pek çok görüntü düzeltme çalışması yapılmıştır. Bu çalışmalardan bir tanesi Li ve arkadaşları tarafından yapılmıştır (Xin Li ve ark., 2016). Bu çalışma temel iki varsayım gözetilerek gerçekleştirilmiştir. İlk varsayım bozuk görüntünün dikdörtgensel bir yapıya sahip

olduğudur. İkinci varsayım ise kullanılan kameranın iç parametrelerinin bilindiğidir. Hough dönüşümü yardımıyla belgenin köşe noktaları elde edilmiştir. Köşe noktalarının elde edilmesinden sonra bozuk görüntü üzerinde bir homografi matrisi oluşturulmaktadır. Bu matris yardımı ile görüntü düzeltilmektedir. Buradaki en büyük dezavantaj düzeltilecek belgenin bir dikdörtgen olması gerektiği gerçeğidir. Görüntü işleme teknikleri eğik belge görüntülerinin düzeltilmesinde ön işlem aşamasında sıklıkla kullanılmaktadır. Mobil aygıttan elde edilen görüntüler üzerinde RLSA (Run Length Smoothing Algorithm) algoritması (Abdullah ve ark., 2012) kullanarak eğik belge görüntülerini düzelten bir yöntem (Salagar ve Patil, 2020) tarafından önerilmiştir. RLSA algoritması, bir belge görüntüsünün satır ve sütun bazında kullanılmaktadır. RLSA, eğim açısını belirlemek ve eğiklik tespiti için uygulanmaktadır. Ayrıca belge tercih edilen açıyla saat yönünün tersine döndürülmektedir. Yöntemde elde edilen görüntü ikili görüntüye dönüştürülmüştür. Ardından görüntü işleme teknikleri ile görüntü nesnesi ile ilgisi olmayan noktalar ortadan kaldırılmıştır. Son aşamada RLSA algoritması yardımıyla eğik obje elde edilmektedir.

Literatürde yer alan yöntemler dikkate alındığında, görüntülerde işlenebilecek eğrilik açılarının aralığının sınırlı ve hesaplama maliyetlerinin yüksek olduğu görülmektedir. Optimal bir eğiklik algılama yaklaşımı hızlı, güvenilir, dosyadan bağımsız ve gürültülere karşı sağlam olmalıdır. Ek olarak, kabul edilebilir bir açı aralığı için de çalışmalıdır. Bu çalışmada, kaynağı belli olmayan ve perspektiften dolayı bozulmalara uğramış görüntülerin düzeltilmesini sağlayan bir yöntem önerilmiştir. Önerilen yöntem literatüre aşağıdaki katkıları sağlamaktadır.

- Düzeltilecek bir belgede pek çok köşe noktası yer alabilmektedir. Bu çalışmada önerilen yöntem ile görüntüdeki belge köşe koordinatları otomatik olarak tespit edilmektedir.
- Önerilen yöntemde düzeltme işlemi için her adımda bir eğim açısının hesaplaması gerekmemektedir. Düzeltme işlemi sırasında bu eğim tek seferde hesaplanabilmektedir. Dolayısı ile hesaplama maliyeti düşüktür.
- Önerilen yöntem, belge içerisinde yer alan grafik ve resimlerden etkilenmemektedir. Grafik ve resim dışında yer alan bölgede doğru köşe noktaları tespit edilmektedir.
- Önerilen yöntem ile farklı eğim açılarında etkili bir düzeltme olanağı sağlanmaktadır.
- Önerilen yöntem, kamera iç parametreleri bilinmeyen tüm görüntülerde etkili sonuçlar vermekte ve ayrıca ek bir hesaplama maliyeti gerektirmemektedir.
- Önerilen yöntemin bir başka özgün değeri ise düzeltme aşamasında kullanılacak olan döndürme parametrelerinin her eğim açısında elde edilebiliyor olmasıdır.

2. Materyal ve Metot

Bu bölümde eğik belge görüntülerinin düzeltilmesinde kullanılan materyallere ve önerilen yöntemin detaylarına yer verilmiştir.

2.1. Niblack Görüntü Eşikleme Metodu

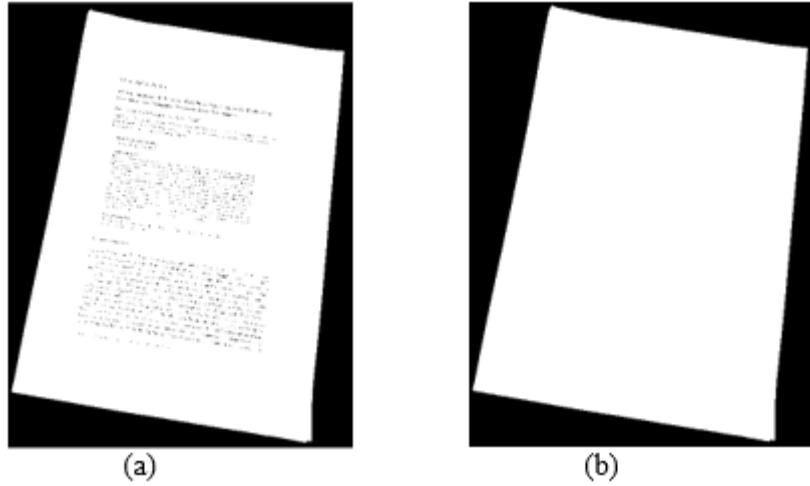
Niblack yöntemi, dikdörtgen bir filtre penceresinin görüntünün tamamı üzerinde ötelenmesi ve her piksel için eşik değerinin hesaplanmasını sağlayan yerel bir eşikleme yöntemidir (Singh ve Sharma, 2023). Gri seviye bir görüntünün ikili bir görüntüye dönüştürülmesini sağlamaktadır. Eşik değerinin hesaplanmasında tüm piksellerin ortalaması ve standart sapması hesaplanmaktadır. Eşik değeri $T(i,j)$, μ komşu piksellerin ortalaması, σ komşu piksellerin standart sapması ve k düzeltme faktörü (genellikle sabit ve 0,2) olmak üzere Denklem (1) ile elde edilmektedir (C. Chen ve ark., 2022).

$$T(i,j) = \mu + k \times \sigma \quad (1)$$

İkili görüntüye çevrilecek birbirine komşu piksellerin olan μ değeri ve σ standart sapması hesaplanmaktadır. Elde edilen değerlere k düzeltme faktörü de eklenerek $T(i,j)$ koordinatı için Denklem (1) ile eşik değer elde edilmektedir. Son aşamada görüntünün (i,j) koordinatındaki piksel ile karşılaştırılmaktadır. Eğer (i,j) koordinatındaki piksel değeri $T(i,j)$ eşik değerinden küçük ise 0 büyük ise 1 olarak ikili görüntüye çevrilmektedir. Bu süreç görüntü piksellerinin tamamına uygulanarak devam edilmektedir.

2.2. Boş Nesne alanlarının Doldurulması

İkili görüntülerde nesnelere arasında boşluklar oluşabilmektedir. Bu boşluklar nesnelere tanınmasını veya algılanmasını güç hale getirebilmektedir. Bu nedenle beyaz pikseller ile kapalı bir alan oluşturan tüm nesnelere boşlukların beyaz pikseller ile doldurulması gerekmektedir. Bu çalışmada materyal olarak kullanılan belgeler yapısı gereği tüm kenarları beyaz olan dokümanlardan oluşmaktadır. O nedenle belge içerisindeki yazıların hiçbir önemi olmamakla birlikte tamamen iç bölgesi beyaz piksellerden oluşan bir yapı elde edilmiştir. Şekil 3' de bu sürece ait bir örnek görüntü verilmiştir.

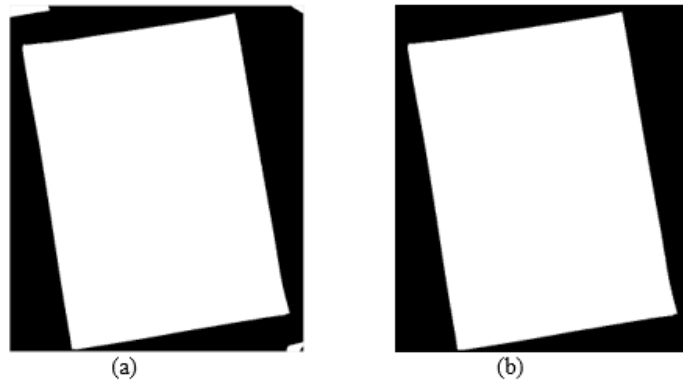


Şekil 3. Belge iç kısımlarının doldurulması (a) İçi yazı ile dolu belge, (b) İç bölgesi beyaz pikseller ile doldurulmuş belge.

Belge iç kısımlarının beyaz pikseller ile doldurulması belgenin köşe noktalarının tespiti için kritik bir öneme sahiptir. Çalışmada kullanılan görüntülerde tarama yapılan belgeler, yapı itibari ile metin bölgeleri dışında kalan kısımlarda beyaz renklerden oluşmaktadır. Şekil 3'te görüldüğü üzere beyaz pikseller dışında kalan iç bölgelerde yer alan şekil, grafik ve tablo gibi nesnelere çalışmanın sonucunu olumsuz bir biçimde etkilememektedir.

2.3. Görüntü Sınırdaki Objelerin Kaldırılması

Çalışmada, eğik görüntünün düzeltilmesi ve hesaplama maliyetinin azaltılması için belge görüntü sınırları ile temas eden tüm beyaz objelerin kaldırılması gerekmektedir. Bu işlem için ikili görüntü içerisinde görüntü sınırları taranmaktadır. Bu sınırlar ile temas eden tüm beyaz piksel öbekleri kontrol edilmektedir. Tespit edilen beyaz piksellerin yatay, dikey ve köşegen olmak üzere tüm komşulukları taranarak görüntü sınırları ile temas eden tüm beyaz piksel kümeleri görüntüden atılmaktadır. Bu sürece ait örnek bir sonuç görüntüsü Şekil 4' de verilmiştir.



Şekil 4. Sınır objelerini kaldırılması (a) Sınır objeleri olan görüntü, (b) Sınır objeleri kaldırılmış görüntü.

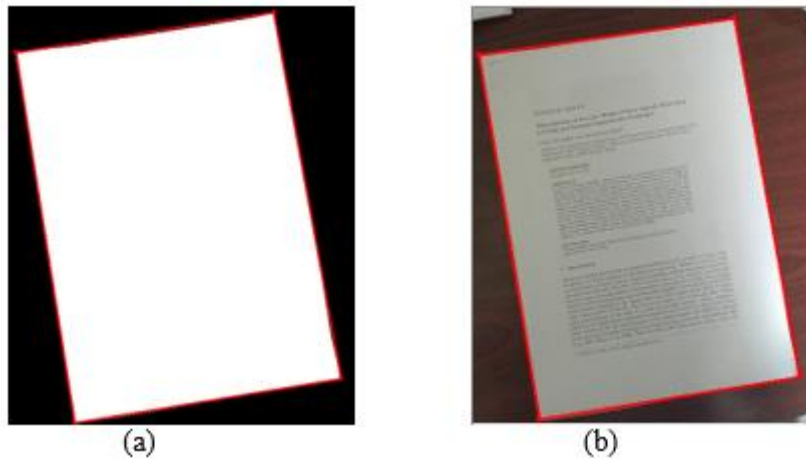
Taraması yapılan bir belgenin dış sınırlarının görüntü çerçeve sınırları ile temas halinde olması düzeltme işlemini olumsuz etkilemektedir. Bu nedenle temas olup olmadığı kontrol edilmeli ve temas halinde olan ve dokümana ait olmayan objelerin ortadan kaldırılması gerekmektedir. Şekil 4' te görüldüğü üzere çalışma sonucunu etkileyen ve görüntü alanı ile temas halinde olan istenmeyen ve gereksiz nesnelere ortadan kaldırılmıştır.

2.4. Gereksiz Nesnelere Temizlenmesi

İkili görüntü içerisinde görüntü sınırları ile temas etmeyen fakat görüntü içerisinde çok küçük gürültülere neden olan nesnelere ortadan kaldırılması gerekmektedir. Bu küçük beyaz piksel kümeleri asıl görüntü ile ilgisi bulunmayan nesnelere ve elde edilecek sonuçları etkilemektedir. Birbiri ile bağlantılı beyaz piksel öbekleri taranmakta ve alanı hesaplanmaktadır. Bu alan beyaz piksel adedi ile temsil edilmektedir. Ardından belli bir adedin altında bulunan beyaz piksel öbekleri siyah piksellere dönüştürülerek görüntüden atılmaktadır.

2.5. Belge Sınırlarının Tespit Edilmesi

İkili görüntüde tüm temizlik işlemlerinin ardından düzeltme işleminin gerçekleştirilebilmesi için dört adet sınır noktasının tespit edilmesi gerekmektedir. Bunun için ikili görüntüde dört farklı yönde en uzak sınırda bulunan beyaz piksel koordinatları otomatik olarak tespit edilmektedir. Bu işlem +y ekseninde en uzak beyaz piksel, -y yönünde en uzak beyaz piksel, +x yönünde en uzak ve -x yönünde en uzak beyaz piksel olmak üzere belirlenmektedir. Ardından tespit edilen bu noktalar ile bir dörtgen meydana getirilmektedir. Bu kapalı dörtgen belgede düzeltilecek bölgeyi temsil etmektedir. Çalışmada tespit edilen koordinatları ve düzeltilecek bölgeyi gösteren örnek bir görüntü Şekil 5' de gösterilmektedir.



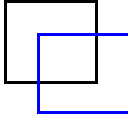
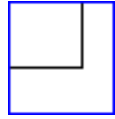
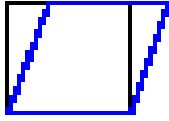
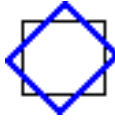
Şekil 5. Düzeltilecek belge sınırlarının tespit edilmesi.

Düzeltilme işleminin gerçekleşebilmesi için belgeye ait dört adet köşe noktasına ihtiyaç bulunmaktadır. Şekil 5’te önceki aşamalarda önışlemi gerçekleştirilen görüntüde köşe noktalarının arka planda yer alan renklerden bağımsız bir biçimde doğru tespit edildiği görülmektedir.

2.6. 2D Affine Dönüşümü

Affine dönüşümü, noktaları, düz çizgileri ve düzlemleri koruyan doğrusal bir haritalama yöntemidir (X. Chen ve ark., 2021). Affine dönüşümünün uygulanmasının ardından birbirlerine paralel olan çizgi kümeleri yine yeni konumlarında bu paralellliği korumaktadırlar. Bu dönüşüm kamera açılarında veya kameranın bulunduğu konum itibarıyla meydana gelen perspektif bozulmaları düzeltmek için kullanılmaktadır (Zheng ve ark., 2021). Bozulmanın düzeltilmesi için görüntü düz bir koordinat sistemine dönüştürülmektedir. Affine dönüşümüne ait dönüşüm matris ifadeleri ve dönüşüm örnekleri Tablo 1’ de gösterilmektedir.

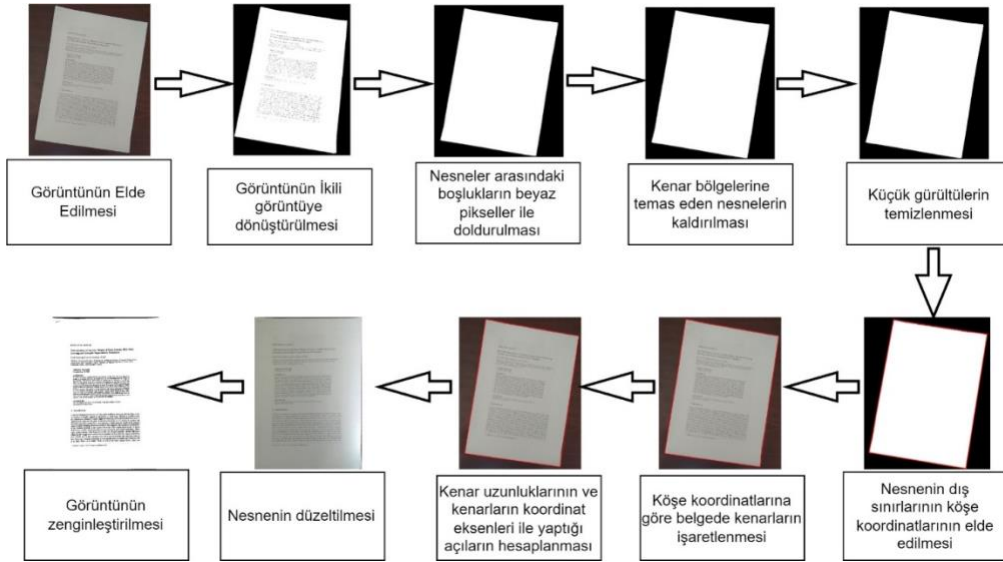
Tablo 1. Affine dönüşümü matris değerleri.

Dönüşüm	Örnek	Dönüşüm Matrisi	Açıklama
Öteleme		$\begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ t_x & t_y & 1 \end{bmatrix}$	t_x, t_y öteleme miktarıdır.
Ölçekleme		$\begin{bmatrix} S_x & 0 & 0 \\ 0 & S_y & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	S_x, S_y ölçekleme oranlarıdır.
Bükme		$\begin{bmatrix} 1 & B_y & 0 \\ B_x & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	B_x, B_y x ve y eksenlerinde bükme oranıdır.
Döndürme		$\begin{bmatrix} \cos(q) & \sin(q) & 0 \\ -\sin(q) & \cos(q) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$	q , döndürme açısıdır.

Farklı açılardan rastgele elde edilen görüntülerin iki boyutlu düzleme taşınarak düzeltme işleminin yapılabilmesi için Affine dönüşümü kullanılmıştır. Affine dönüşümünün yapılabilmesi için Tablo 1’ de verilen parametrelerin hesaplanması gerekmektedir. Bu çalışmanın özgün bir katkısı ise Affine dönüşümü parametrelerinin görüntünün elde edildiği kameranın iç parametrelerine ihtiyaç duyulmadan hesaplanabilmesidir.

2.7. Önerilen yöntem

Eğik belge görüntülerini düzeltilmesi için pek çok adım bulunmaktadır. Önerilen yönteme ait blok diyagramı Şekil 6’ da verilmiştir.



Şekil 6. Önerilen yöntemin blok diyagramı.

Yöntem dokuz adımdan oluşmaktadır. Bu adımların ayrıntıları aşağıda verilmiştir.

Adım 1: Eğik belge görüntüsü Niblack metodu yardımıyla ikili görüntüye çevrilir.

Adım 2: Bir önceki adımdan elde edilen ikili görüntüde nesnelere arasında boşluklar oluşmaktadır. Bu boşluklar beyaz pikseller yardımıyla doldurulmaktadır. Dokümanların genel yapısı gereği yazı, resim ve grafik olan tüm öğeler belgenin orta kısmında yer almaktadır. Bu bölgelerin dışında kalan kısımlar beyaz piksellerden oluşmakta ve kapalı bir alan oluşturmaktadır. Kapalı alanların oluşturulması sonraki aşamalarda nesnenin dış sınırlarının tespitinde kullanılacaktır.

Adım 3: Kapalı alanın oluşturulmasından sonra nesne dışında kalan ve görüntü kenar bölgeleri ile temas halinde olan tüm nesnelere görüntüden siyah pikseller marifetiyle ortadan kaldırılır.

Adım 4: Adım 2 ve Adım 3’ teki işlemlerin yapılmasına rağmen görüntüde asıl dokümandan bağımsız alanlarda kirlilikler olabilmektedir. Bu adımda piksel adedi belli bir değerin altında kalan beyaz görüntü öbekleri siyah pikseller kullanılarak ortadan kaldırılmaktadır. Bu çalışmada 30 adet ve altında olan tüm pikseller kaldırılmıştır. Bu değer manuel olarak ayarlanabilmektedir.

Adım 5: Yukarıdaki tüm adımlardan sonra görüntü içerisinde metnin bulunduğu ve tamamen beyaz piksellerden oluşan bir nesne meydana gelmektedir. Bu nesne üzerinde dört farklı yönde tarama yapılarak nesnenin en dış sınırlarını meydana getirecek $(X_0, Y_0), (X_1, Y_1), (X_2, Y_2)$ ve (X_3, Y_3) noktaları belirlenmektedir. Bu köşe noktaları düzeltilecek nesnenin dış sınırlarını işaret eden köşe noktaları olmaktadır.

Adım 6: Bu adımda bir önceki adımda elde edilen köşe noktalarının oluşturduğu dörtgenin kenar uzunlukları hesaplanmaktadır. Dörtgenin her bir kenar uzunluğu Pisagor teoremi yardımıyla elde edilmektedir. Burada her bir kenar X ve Y eksenleri ile farklı açılar meydana getirmektedir. K_0, K_1, K_2 ve K_3 kenar uzunluklarını, α , X eksenini ile ve θ , Y eksenini ile yapılan açıyı, $X_{0..3}$ ve $Y_{0..3}$ kenarların başlangıç ve bitiş koordinatlarını göstermek üzere her bir kenarın eksenler ile yapmış olduğu açılar Denklem (2), (3), (4) ve (5) ile hesaplanmaktadır (Güvenoğlu, 2012).

$$K_0 \implies \alpha_0 = \frac{X_1 - X_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}} \quad \theta_0 = \frac{Y_1 - Y_0}{\sqrt{(X_1 - X_0)^2 + (Y_1 - Y_0)^2}} \quad (2)$$

$$K_1 \implies \alpha_1 = \frac{X_2 - X_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}} \quad \theta_1 = \frac{Y_2 - Y_1}{\sqrt{(X_2 - X_1)^2 + (Y_2 - Y_1)^2}} \quad (3)$$

$$K_2 \implies \alpha_2 = \frac{X_2 - X_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}} \quad \theta_2 = \frac{Y_2 - Y_3}{\sqrt{(X_2 - X_3)^2 + (Y_2 - Y_3)^2}} \quad (4)$$

$$K_3 \implies \alpha_3 = \frac{X_3 - X_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}} \quad \theta_3 = \frac{Y_3 - Y_0}{\sqrt{(X_3 - X_0)^2 + (Y_3 - Y_0)^2}} \quad (5)$$

Adım 7: Düzeltme işleminin ardından oluşacak görüntü bir dörtgendir. Bu nedenle eğik görüntü ile sonuçta oluşacak dörtgen arasındaki ilişkinin belirlenmesi gerekmektedir. Bu ilişkide hangi kenarın hangi yöne ve her bir kenarın kaç derece döndürüleceği belirlenmelidir. Doğru parçası üzerinde bulunan her bir nokta X ve Y düzlemleri ile doğrusal bir artış göstermektedir. Bu nedenle geometrik bir seri meydana getirmektedir. Dolayısı ile bir doğru parçası maksimum 90° döndürülebilmektedir. Bu aşamada karşılıklı doğru parçaları birbirleri ile karşılaştırılmaktadır. Bu şekilde işlem adım sayısı da azaltılmıştır. Bu yönleri ile önerilen yöntem ayrı bir özgünlük katılmıştır. Karşılıklı kenarların karşılaştırılması sırasında toplamda 12 farklı işlem bulunmaktadır. Bu işlemlerden kenar uzunluklarına göre uygun olan 4 tanesi işlem görmektedir. Bu mümkün işlem adımları $P_0, P_1, P_2, P_3, P_4, P_5, P_6, P_7, P_8, P_9, P_{10}, P_{11}$ ve karşılıklı kenarlar arasındaki açı R , X ve Y düzlemleri ile elde edilen geometrik seri toplamı q , ve yeni düzlemin maksimum büyüklüğü D , $K_{0..3}$ kenarları, $q_{K_{0..3}}$ kenarlara ait geometrik seri toplamlarını, $R_{K_{0..3}}$ kenarların eksenler ile yapmış oldukları açıyı ve $N_{K_{0..3}}$ kenarların yeni düzlemdeki uzunluklarını ifade etmek üzere olası tüm işlem adımları ve denklemleri aşağıda verilmiştir (Güvenoğlu, 2018).

$$K_1 = K_3 \text{ ve } K_0 > K_2 \text{ ise } P_0 = \begin{cases} R_{K_0} = 1, & R_{K_2} = \frac{K_0}{K_2} \\ q_{K_0} = 1, & q_{K_2} = 1 \\ N_{K_0} = K_0, & N_{K_2} = K_0 \end{cases} \quad (6)$$

$$K_1 = K_3 \text{ ve } K_0 < K_2 \text{ ise } P_1 = \begin{cases} R_{K_0} = 1, & R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0} \\ q_{K_2} = 1, & q_{K_0} = 1 \\ N_{K_2} = K_2, & N_{K_0} = K_2 \end{cases} \quad (7)$$

$$K_1 \neq K_3, K_1 < K_3 \text{ ve } K_0 > K_2 \text{ ise } P_2 = \begin{cases} R_{K_0} = 1, & R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0} \\ q_{K_0} = \frac{(K_0 - 1)}{(K_0 - \frac{K_1}{K_3})}, & q_{K_2} = q_{K_0} \\ N_{K_0} = \frac{\ln(\frac{K_1}{K_3})}{\ln(q_{K_0})} + 1, & N_{K_2} = N_{K_0} \end{cases} \quad (8)$$

$$K_1 \neq K_3, K_1 < K_3 \text{ ve } K_0 < K_2 \text{ ise } P_3 = \begin{cases} R_{K_2} = 1, & R_{K_0} = \frac{K_0}{K_2} \\ q_{K_2} = \frac{(K_2 - 1)}{(K_2 - \frac{K_1}{K_3})}, & q_{K_0} = q_{K_2} \\ N_{K_2} = \frac{\ln(\frac{K_1}{K_3})}{\ln(q_{K_2})} + 1, & N_{K_0} = N_{K_2} \end{cases} \quad (9)$$

$$K_1 \neq K_3, K_1 > K_3 \text{ ve } K_0 > K_2 \text{ ise } P_4 = \begin{cases} R_{K_0} = (q_{K_0})^{N_{K_0}}, & R_{K_2} = \frac{K_2}{K_0 \times R_{K_0}} \\ q_{K_0} = \frac{(K_0 - 1)}{(K_0 - \frac{K_3}{K_1})}, & q_{K_2} = \frac{1}{q_{K_0}} \\ N_{K_0} = \frac{\ln(\frac{K_3}{K_1})}{\ln(q_{K_0})} + 1, & N_{K_2} = N_{K_0} \end{cases} \quad (10)$$

$$K_1 \neq K_3, K_1 > K_3 \text{ ve } K_0 < K_2 \text{ ise } P_5 = \begin{cases} R_{K_2} = (q_{K_2})^{N_{K_2}}, & R_{K_0} = \frac{K_0}{K_2 \times R_{K_2}} \\ q_{K_2} = \frac{(K_2 - 1)}{(K_2 - \frac{K_3}{K_1})}, & q_{K_0} = \frac{1}{q_{K_2}}, & q_{K_2} = q_{K_0} \\ N_{K_2} = \frac{\ln(\frac{K_3}{K_1})}{\ln(q_{K_2})} + 1, & N_{K_0} = N_{K_2} \end{cases} \quad (11)$$

$$K_0 = K_2 \text{ ve } K_3 > K_1 \text{ ise } P_6 = \begin{cases} R_{K_3} = 1, & R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3} \\ q_{K_1} = 1, & q_{K_3} = 1 \\ N_{K_3} = K_3, & N_{K_1} = K_3 \end{cases} \quad (12)$$

$$K_0 = K_2 \text{ ve } K_3 < K_1 \text{ ise } P_7 = \begin{cases} R_{K_3} = 1, & R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3} \\ q_{K_1} = 1, & q_{K_3} = 1 \\ N_{K_3} = K_3, & N_{K_1} = K_3 \end{cases} \quad (13)$$

$$K_0 \neq K_2, K_2 < K_0 \text{ ve } K_3 > K_1 \text{ ise } P_8 = \begin{cases} R_{K_3} = 1, & R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3} \\ q_{K_3} = \frac{(K_3 - 1)}{(K_3 - \frac{K_2}{K_0})}, & q_{K_1} = q_{K_3} \\ N_{K_3} = \frac{\ln(\frac{K_2}{K_0})}{\ln(q_{K_3})} + 1, & N_{K_1} = N_{K_3} \end{cases} \quad (14)$$

$$K_0 \neq K_2, K_2 < K_0 \text{ ve } K_3 < K_1 \text{ ise } P_9 = \begin{cases} R_{K_1} = 1, & R_{K_3} = \frac{K_3}{K_1} \\ q_{K_1} = \frac{(K_1 - 1)}{(K_1 - \frac{K_2}{K_0})}, & q_{K_3} = q_{K_1} \\ N_{K_1} = \frac{\ln(\frac{K_2}{K_0})}{\ln(q_{K_1})} + 1, & N_{K_3} = N_{K_1} \end{cases} \quad (15)$$

$$K_0 \neq K_2, K_2 > K_0 \text{ ve } K_3 > K_1 \text{ ise } P_{10} = \begin{cases} R_{K_1} = \frac{K_1}{K_3 \times R_{K_3}} & R_{K_3} = (q_{K_3})^{N_{K_3}} \\ q_{K_3} = \frac{(K_3 - 1)}{(K_3 - \frac{K_0}{K_2})} & q_{K_1} = \frac{1}{q_{K_3}} & q_{K_3} = q_{K_1} \\ N_{K_3} = \frac{\ln(\frac{K_0}{K_2})}{\ln(q_{K_3})} + 1 & N_{K_1} = N_{K_3} \end{cases} \quad (16)$$

$$K_0 \neq K_2, K_2 > K_0 \text{ ve } K_3 < K_1 \text{ ise } P_{11} = \begin{cases} R_{K_1} = (q_{K_1})^{N_{K_1}} & R_{K_3} = \frac{K_3}{K_1 \times R_{K_1}} \\ q_{K_1} = \frac{(K_1 - 1)}{(K_1 - \frac{K_0}{K_2})} & q_{K_3} = \frac{1}{q_{K_1}} & q_{K_1} = q_{K_3} \\ N_{K_1} = \frac{\ln(\frac{K_0}{K_2})}{\ln(q_{K_1})} + 1 & N_{K_3} = N_{K_1} \end{cases} \quad (17)$$

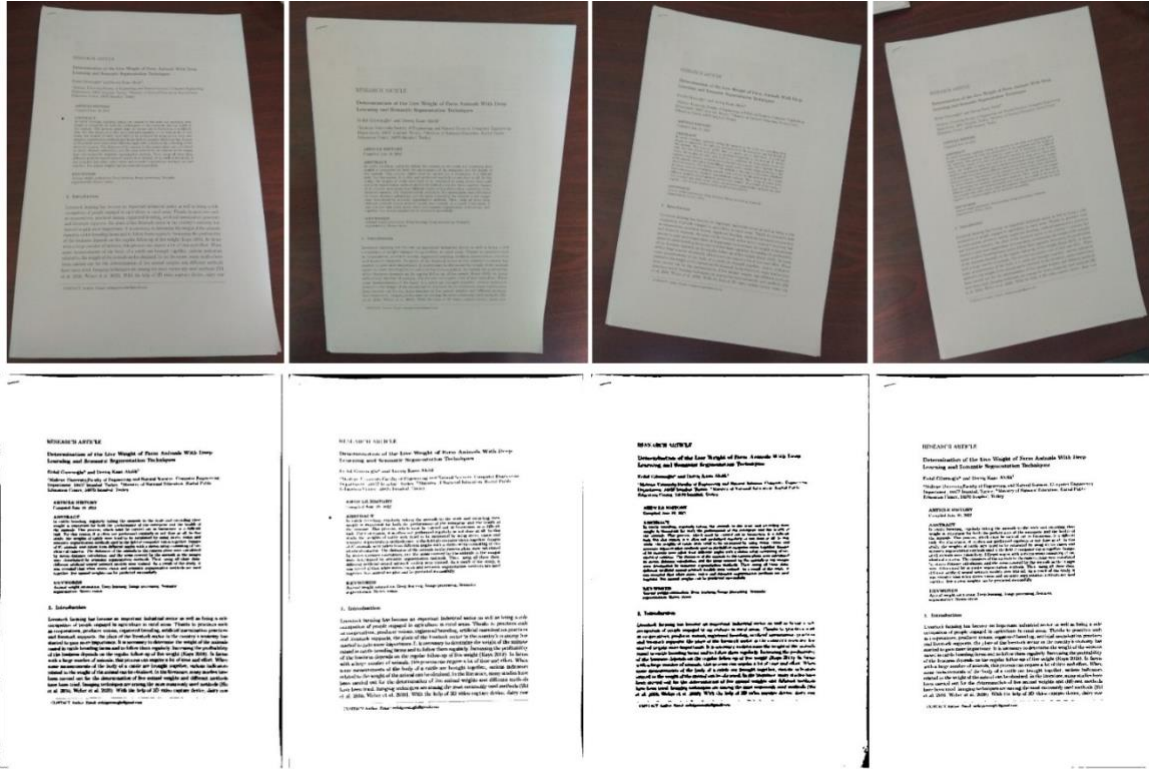
Kenar uzunluklarına göre yukarıda elde edilen dört parametre, düzeltilmeden sonraki görüntü boyutunu ve yeni yerine taşınacak piksellerin konumlarını elde edilmesini sağlamaktadır.

Adım 8: Bu aşamada eğik görüntüdeki piksel değerleri 2D Affine dönüşümü yardımıyla yeni konumlarına taşınmaktadır.

Adım 9: Taşıma işleminden sonra belge görüntüsü üzerinde optik karakter tanıma v.b. sistemlerde kullanılmak üzere histogram eşitleme işlemi yapılarak görüntü zenginleştirilmektedir.

3. Bulgular ve Tartışma

Bu çalışmada yöntemin performansını test etmek amacıyla parametreleri belli olmayan mobil telefon kamerası ile farklı yönlerde ve farklı açılarda 400 adet görüntü elde edilmiştir. Bu görüntüler 3D koordinat düzlemi göz önüne alındığında $+x$ yönünde, $-x$ yönünde, $+z$ yönünde ve $-z$ yönünde olmak üzere her biri 100' er adettir. Burada y koordinat düzlemi dikkate alınmamıştır. Bunun nedeni, bir belgenin mobil telefon ile görüntüsü elde edilirken insan doğası gereği belgeye dik konumda görüntü elde etme isteği ve eğilimidir. Bununla birlikte çok karmaşık arka plan içermeyen ve rastgele açılardan oluşan görüntüler kullanılmıştır. Çok karmaşık arka plana sahip çekim görüntülerinde işlem süresi fazla olabilecektir. Şekil 7' de rastgele elde edilmiş eğik görüntülerden oluşan veri setinden örnekler verilmiş ve önerilen yöntem ile düzeltmeler yapılarak elde edilen örnek sonuçlar gösterilmiştir.

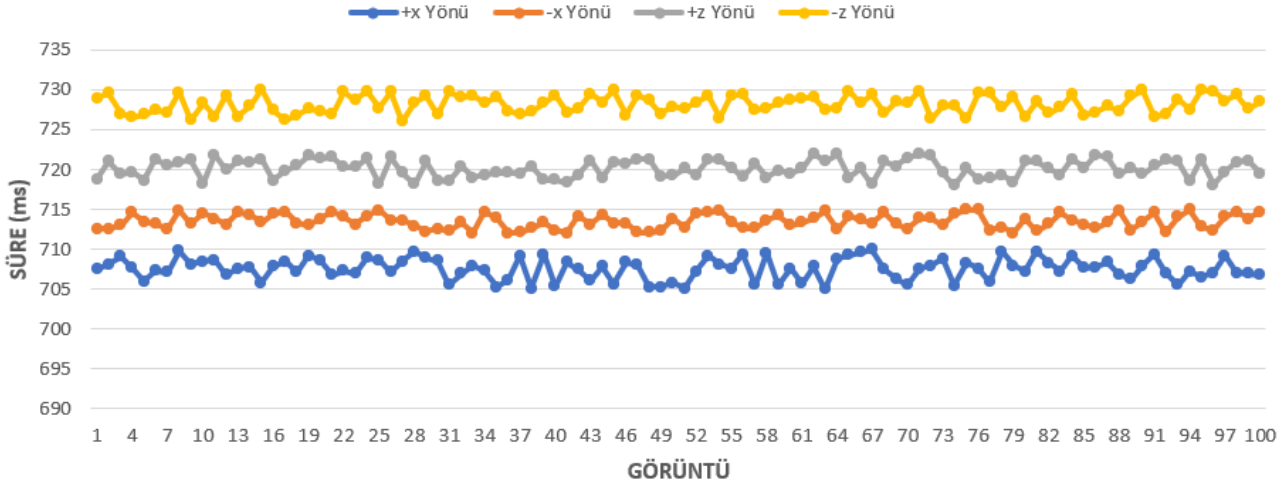


Şekil 7. Yöntemden elde edilen örnek sonuç görüntüleri.

Önerilen yöntemin başarımı ve süre ölçümleri Intel Core i7-4700HQ 2.40GHz İşlemciye ve 16 GB belleğe sahip bir bilgisayarda test edilmiştir. Farklı yönlerde elde edilmiş 900×600 ölçülerindeki görüntülerin düzeltilmesi için geçen çalışma süreleri ölçümlenmiş, Tablo 2' de ortalama düzeltme süreleri ve Şekil 8'de ise her bir görüntünün düzeltme sürelerinin dağılım grafiği verilmiştir.

Tablo 2. Farklı yön ve açılarda elde edilmiş görüntülerin ortalama düzeltme süreleri.

Görüntüler	Ortalama Süre (ms)
+x yönünde (100 adet)	707
-x yönünde (100 adet)	713
+z yönünde (100 adet)	720
-z yönünde (100 adet)	728
Genel Ortalama	717



Şekil 8. Test görüntülerinin düzeltme süreleri dağılımı.

Rastgele ve farklı açılardan elde edilen veri seti görüntüleri üzerinde yapılan süre ölçümlerinde Tablo 1’ de ortalama süreleri ve Şekil 8’ de ise her bir görüntünün düzeltilmesinde geçen süreler verilmiştir. +x ve -x yönlerinde sürelerin daha düşük olmasının nedeni görüntü arka planlarında yer alan nesne adedinin daha az olmasından kaynaklanmaktadır. +z ve -z yönünde elde edilen görüntülerde ise eğim açısından kaynaklı olarak arka plana daha fazla nesnenin girmesi ve bu nesnenin ortadan kaldırılması için daha fazla zamana ihtiyaç duyulmasından ileri gelmektedir.

Önerilen yöntemin başarılı bir sonuç verebilmesi belge içerisinde yer alan metin dış sınırlarının doğru tespit edilebilmesi ile mümkündür. Orijinal ve işlenmiş görüntü arasında elde edilen sonucun istatistiksel olarak karşılaştırılması için MSE (Ortalama Karesel Hata, Mean Squared Error) ve PSNR (Peak Signal to Noise Ratio, Tepe Sinyal Gürültü Oranı) ölçüm metrikleri kullanılmıştır. MSE ve PSNR, M ve N görüntünün satır ve sütun boyutları, I_1 orijinal görüntüyü ve I_2 işlenmiş görüntüyü temsil etmek üzere Denklem (18) ve (19) ile ifade edilmektedir (Güvenoğlu ve Tunalı, 2023).

$$MSE = \frac{1}{M \times N} \sum_{ij} (I_1(i, j) - I_2(i, j))^2 \quad (18)$$

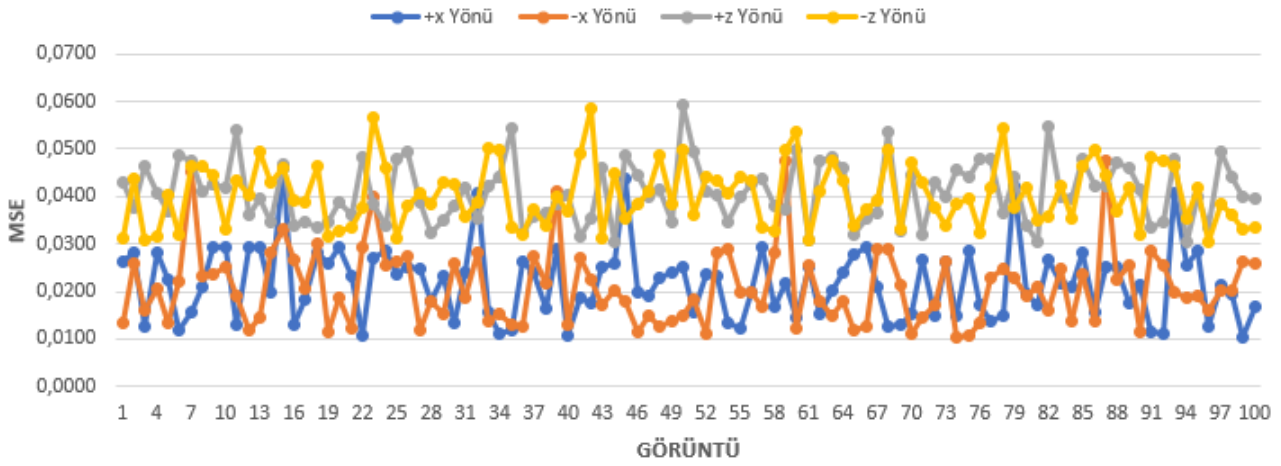
$$PSNR = 10 \times \log_{10} \frac{255^2}{MSE} \quad (19)$$

MSE değerinin 0’ a yakın olması ve PSNR değerinin ise yüksek olması önerilen yöntemin başarılı olduğu ve aynı zamanda elde edilen sonuç görüntüsünün kaliteli olduğu anlamına gelmektedir

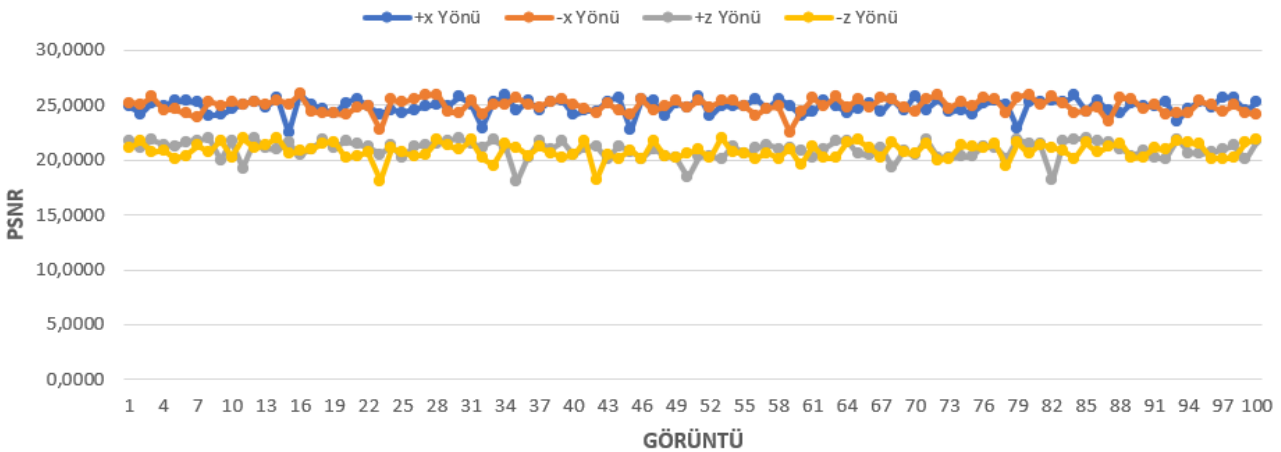
(Di Meo ve ark., 2023). Farklı yönlerden mobil aygıt yardımıyla elde edilen görüntüler işlendikten sonra sonuç görüntüleri orijinal görüntü ile karşılaştırılarak MSE ve PSNR değerleri ölçülmüştür. Her bir yönde elde edilen görüntülerin ortalama MSE ve PSNR değerleri Tablo 3’ de verilmiştir. Her bir orijinal ve düzeltilmiş görüntü arasındaki MSE değerlerinin grafiksel dağılımı Şekil 9’da ve PSNR değerleri ise Şekil 10’ da gösterilmiştir.

Tablo 3. Orijinal ve işlenmiş görüntüler arasındaki MSE ve PSNR sonuçları.

Görüntüler	MSE (ortalama)	PSNR (ortalama)
+x yönünde (100 adet)	0,0216	25,2963
-x yönünde (100 adet)	0,0244	25,3692
+z yönünde (100 adet)	0,0414	21,7696
-z yönünde (100 adet)	0,0404	21,5643
Genel ortalama	0,0319	23,4998



Şekil 9. Test görüntülerinin MSE ölçüm değerleri.



Şekil 10. Test görüntülerinin PSNR ölçüm değerleri.

Tablo 3’ te verilen ortalama değerler ile Şekil 9 ve Şekil 10’ da her bir görüntü için elde edilen MSE ve PSNR değerleri incelendiğinde MSE değerinin 0’a yakın ve PSNR değerlerinin ise 0’ dan oldukça uzak olduğu görülmektedir. Bazı MSE ve PSNR değerlerinde sapmalar olduğu

gözlemlenmiştir. Sapmaların olduğu görüntüler incelenmiş ve bunun temel nedeninin ortam ışığından ve çekim esnasındaki titreşimlerden kaynaklandığı görülmüştür. Gerekli çekim koşulları sağlandığında MSE ve PSNR değerlerinin ortalama değerlere yaklaştığı tespit edilmiştir. Elde edilen test sonuçları göz önüne alındığında öne sürülen yöntemin başarılı olduğu söylenebilmektedir.

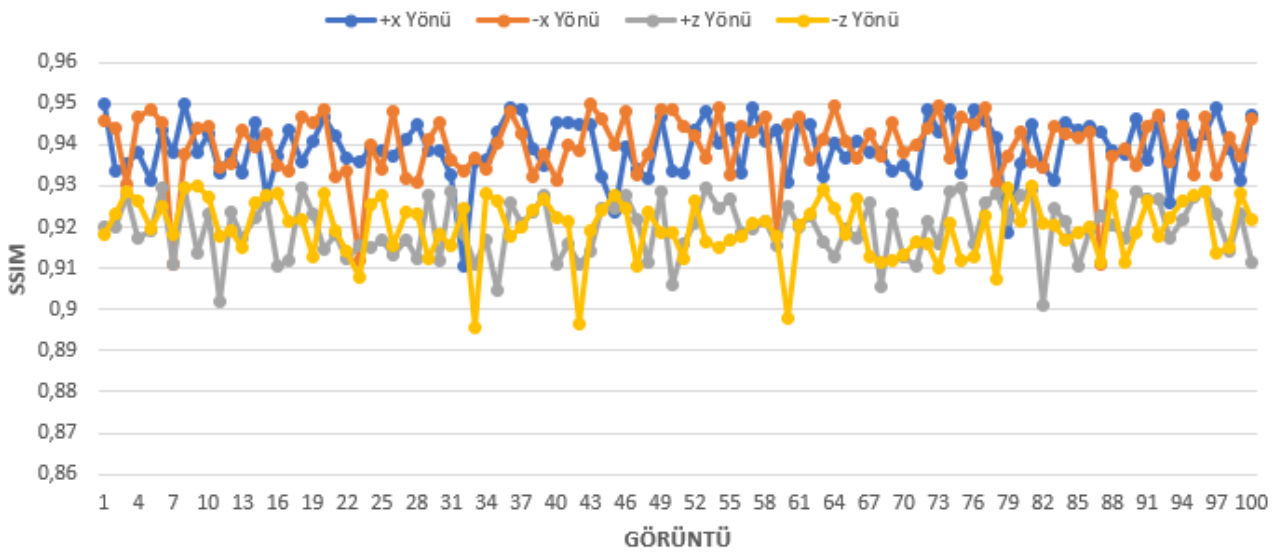
Görüntüler arasındaki yapısal benzerliklerin karşılaştırılması için gerçekleştirilen bir başka test ise SSIM (Yapısal Benzerlik Testi, Structural Similarity Test) testidir. Orijinal ve işlenmiş görüntü arasındaki benzerliğin test edilmesi için kullanılan bir ölçüm metriğidir. I_1 orjinal görüntüyü ve I_2 işlenmiş görüntüyü, μ_{P_1} ve μ_{P_2} , I_1 ve I_2 nin ortalamalarını, $\sigma_{P_1}^2$ ve $\sigma_{P_2}^2$, I_1 ve I_2 nin varyanslarını, $\sigma_{P_1 P_2}$, I_1 ve I_2 nin kovaryanslarını, C_1 ve C_2 , görüntüleri dengelemek için kullanılan sabit değişkenleri temsil etmek üzere SSIM, Denklem (20) ile elde edilmektedir (Ali ve ark., 2023).

$$SSIM = \frac{(2\mu_{I_1}\mu_{I_2} + C_1)(2\sigma_{I_1}\sigma_{I_2} + C_2)}{(\mu_{I_1}^2 + \mu_{I_2}^2 + C_1)(\sigma_{I_1}^2 + \sigma_{I_2}^2 + C_2)} \quad (20)$$

SSIM testi orijinal ve işlenmiş görüntüler arasında yapılmış elde edilen ortalama sonuçlar Tablo 4’ de verilmiştir. Her bir görüntüye ait SSIM dağılım grafiği ise Şekil 11’de verilmiştir.

Tablo 4. Orijinal ve işlenmiş görüntüler arasındaki SSIM sonuçları.

Görüntüler	SSIM (ortalama)
+x yönünde (100 adet)	0,9452
-x yönünde (100 adet)	0,9468
+z yönünde (100 adet)	0,9214
-z yönünde (100 adet)	0,9202
Genel ortalama	0,9331



Şekil 11. Test görüntülerinin SSIM ölçüm değerleri.

Tablo 4 ve Şekil 11' e dikkat edildiğinde yapılan SSIM testinde düzeltilmiş görüntüler ile orijinal görüntüler arasındaki benzerliğin ortalama %93,34 olduğu görülmüştür. Bu oran Şekil 11' de görülen bazı görüntülerin çekim hatalarından ve titreşimlerden kaynaklanmaktadır. Bu durumun kaliteli çekimler ile düzeltildiği ve başarı oranının çok daha yüksek değerlere ulaştığı gözlemlenmiştir. Bu çalışmada gerçek koşullarda yapılan görüntü çekimlerini simüle etmek adına hatalı görüntülerde tekrar çekim yapma ve düzeltme yoluna gidilmemiştir. Dolayısı ile elde edilen başarı sonuçları gerçek koşullarda elde edilen çekim sonuçlarını göstermektedir. Bununla birlikte, hataların kaynaklandığı görüntüler tespit edilip düzeltilerek başarı durumları gözlemlenmiş ve ortalama %97,34 oranında bir başarı elde edilmiştir.

Önerilen yöntemde doğrulanması için literatürde yaygın kullanılan ortalama hata sapması (AED, Average error deviation) ölçüm metriği de kullanılmıştır. AED, bir görüntü kümesinde her bir görüntü için gerçek açı ile algılanan açı arasındaki farkı ifade etmektedir. AED, Denklem (21) ile ifade edilmektedir (Bao ve ark., 2022).

$$AED = \frac{\sum_{j=1}^N |P(j) - GT(j)|}{N} \quad (21)$$

Burada, j belge görüntüsünü, N veri setindeki toplam görüntü sayısını, P düzeltme sonucundaki algılanan açıyı ve GT ise gerçek açıyı ifade etmektedir. Farklı yönlerde elde edilmiş veri seti görüntüleri AED metriği ile test edilmiş ve elde edilen sonuçlar Tablo 5' de verilmiştir.

Tablo 5. Orijinal ve işlenmiş görüntüler arasındaki AED sonuçları.

Görüntüler	AED
+x yönünde (100 adet)	0,0906
-x yönünde (100 adet)	0,0901
+z yönünde (100 adet)	0,1104
-z yönünde (100 adet)	0,1187
Genel ortalama	0,1024

Tablo 5' e dikkat edildiğinde AED metriği ile yapılan testlerde ortalama olarak %10,24 oranında bir hata meydana gelmiştir. Bunun temel nedeni +x ve -x yönünde piksel kayıplarının az, +z ve -z yönündeki görüntülerin düzeltilmesinde piksel kayıplarının daha fazla olmasından kaynaklanmaktadır. Çekim açısından dolayı kamera düzlemine uzak olan kenar noktalarındaki piksel bozulmaları daha fazla ve yakın olan kenarlardaki piksel bozulmaları daha az olmaktadır. Ayrıca orijinal görüntülerde nesnelere yer almakta düzeltilmiş görüntülerde ise nesnelere yer almamaktadır. Bu durumlar hata oranını doğrudan etkileyen faktörlerdir. Bu oranın azaltılması orijinal görüntülerde de nesnelere temizlenmesi ile azaltılabilmektedir. Ancak gerçek ortamın simüle edilebilmesi için orijinal görüntülerde bir temizlik işlemi yapılmamıştır.

Önerilen çalışma yukarıda belirtilen ölçüm metrikleri ile test edilmiş ve literatürdeki benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Karşılaştırma verileri Tablo 6' da verilmiştir.

Tablo 6. Önerilen yöntemin metrikler bakımından diğer yöntemler ile karşılaştırılması

Yöntem	MSE	PSNR	SSIM	AED	Süre (S)
Önerilen Yöntem	0,0320	23,4998	0,9331	0,1024	0,7170
(Y. Chen ve ark., 2023)	0,0014	-	-	-	0,0480
(Huang ve ark., 2019)	-	-	-	0,0860	0,3450
(Bezmaternykh ve Nikolaev, 2020)	-	-	-	0,2300	-
(Ahmad ve ark., 2021)	-	-	-	0,3700	-
(Kaur ve Kumar, 2023)	0,0414	17,6956	0,7882	0,1991	-
(Feng ve ark., 2021)	-	-	0,4970	-	2,7900
(Bao ve ark., 2022)	-	-	-	0,0450	0,3400
(Boudraa ve ark., 2020)	-	-	-	0,2530	-
(Agrawal ve Kaur, 2018)	-	-	-	0,0410	-

Literatür çalışmaları incelendiğinde ve karşılaştırmalar yapıldığında bazı çalışmalarda bazı ölçüm metriklerinin kullanılmadığı görülmüştür. Önerilen yöntem, diğer çalışmalar ile karşılaştırıldığında MSE değerinin diğer yöntemler ile hemen hemen aynı olduğu buna karşılık PSNR değerinin oldukça iyi bir sonuç verdiği görülmüştür. PSNR değerinin yüksek olması literatürdeki diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu anlamına gelmektedir. SSIM metriğine bakıldığında ise sonuç görüntüsü ile orijinal görüntü arasındaki benzerliğin %93,31 ve diğer yöntemlerden daha başarılı olduğu anlaşılmaktadır. Bu benzerlik oranı ile mevcut yöntemlerde daha etkilidir. Hataların kaynaklandığı görüntüler üzerinde ön iyileştirmeler yapıldığında bu oran daha da artmaktadır. Ancak verimli bir karşılaştırma yapabilmek için görüntülerde oynamalar yapılmamış ve oldukça iyi bir başarımla elde edilmiştir. AED metriği göz önüne alındığında literatürdeki çoğu yöntemden iyi olduğu görülmektedir. Aradaki bu temel fark literatürdeki yöntemlerde kullanılan düşük görüntü çözünürlüğünden kaynaklanmaktadır. Çalışmada yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler kullanılmıştır. Çözünürlüğün düşürülmesi durumunda daha iyi sonuçlarda elde edilebilmektedir. Ancak kaliteli sonuçlar elde edilebilmesi için yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler tercih edilmiştir. Süre bakımından karşılaştırıldığında ise bir yöntem dışında diğer yöntemlerden yüksek bir süre elde edilmiştir. Bunun en temel nedeni yüksek çözünürlüğe sahip görüntüler kullanılmasından kaynaklanmaktadır. Karşılaştırma yapılan çalışmalarda daha düşük çözünürlüğe sahip görüntülerin kullanıldığı görülmüştür. Sonuç olarak aynı özelliğe sahip görüntülerin kullanılması durumunda daha iyi süreler elde edilebilecektir.

4. Sonuçlar ve Öneriler

Bu çalışmada, mobil cihazlar yardımıyla rastgele çekilen görüntülerde meydana gelen eğik görüntülerin düzeltilmesi için bir yöntem sunulmuştur. Önerilen yöntem ile mobil cihazlarda elde edilen görüntülerdeki eğik bozulmalar düzeltilmiştir. Düzeltilmiş görüntüler MSE, RMSE, SSIM ve AED hata ölçüm metrikleri ile test edilmiş ve literatürde yer alan benzer çalışmalar ile karşılaştırılmıştır. Yapılan karşılaştırmalarda önerilen yöntemin başarılı sonuçlar ürettiği görülmüştür. Bu başarımın daha da artırılması kullanılacak mobil cihazın kamera kalitesine ve işlem gücüne de bağlıdır. Kamera kalitesinin düşük olması küçük miktarda ayrıntı kaybına da neden olabilecektir. Bununla birlikte çekim koşullarının ve çevre şartlarının da daha kaliteli ayrıntı elde etmede etkili olduğu görülmüştür. Günlük hayatta ve iş yaşamında birçok belgenin hızlı bir şekilde karşı tarafa iletilmesinde yaygın olarak fotoğraf ve video çekilmektedir. Bu çekim esnasında belgelerde eğik bozulmaların oluşması kaçınılmazdır. Eğik görüntülerin düzeltilmesi mobil teknolojilerdeki hızlı gelişmelerde dikkate alındığında önemli bir çalışma alanı olarak karşımıza çıkmaktadır. Bu çalışmada önerilen yöntem ve mobil cihaz kameralarının gelişim potansiyeli göz önüne alındığında daha kaliteli içerikler oluşturulmasında bu alanda çalışacak bilim insanlarına kaynak olacağı öngörülmektedir. Bununla birlikte, veri setinin önerilen yöntem kullanılarak genişletilmesi ve gelecek çalışmalarda yapay zekâ teknolojileri ile birlikte kullanımına da olanak sağlayacağı düşünülmektedir.

Araştırma ve Yayın Etiği Beyanı

Yapılan çalışmada araştırma ve yayın etiğine uyulmuştur.

Kaynaklar

- Abdullah, S. N. H. S., Sudin, M. N., Prabuwono, A. S., ve Mantoro, T. (2012). License plate detection and segmentation using cluster run length smoothing algorithm. *Journal of Information Technology Research*, 5(3), 46-70.
- Agrawal, N., ve Kaur, A. (2018, January). An algorithmic approach for text recognition from printed/typed text images. *8th International Conference on Cloud Computing, Data Science & Engineering (Confluence)*, Noida, India.
- Ahmad, R., Naz, S., ve Razzak, I. (2021). Efficient skew detection and correction in scanned document images through clustering of probabilistic hough transforms. *Pattern recognition letters*, 152, 93-99.
- Ahmed, R., Gogate, M., Tahir, A., Dashtipour, K., Al-Tamimi, B., Hawalah, A., El-Affendi, M. A., ve Hussain, A. (2021). Novel deep convolutional neural network-based contextual recognition of Arabic handwritten scripts. *Entropy*, 23(3), 340.
- Al-Khatatneh, A., Pitchay, S. A., ve Al-qudah, M. (2015, March). A review of skew detection techniques for document. *17th UKSim-AMSS International Conference on Modelling and Simulation (UKSim)*, Cambridge, UK

- Alghamdi, A., Alluhaybi, D., Almeahmadi, D., Alameer, K., Siddeq, S. B., ve Alsubait, T. (2021, March). Text segmentation of historical Arabic handwritten manuscripts using projection profile. *2021 National Computing Colleges Conference (NCCC)*, Taif, Saudi Arabia.
- Ali, A. M., Benjdira, B., Koubaa, A., Boulila, W., ve El-Shafai, W. (2023). TESR: Two-Stage Approach for Enhancement and Super-Resolution of Remote Sensing Images. *Remote Sensing*, 15(9), 2346.
- Bafjaish, S. S., Azmi, M. S., Al-Mhiqani, M. N., Radzid, A. R., ve Mahdin, H. (2018). Skew detection and correction of Mushaf Al-Quran script using hough transform. *International Journal of Advanced Computer Science Applications*, 9(8).
- Bao, W., Yang, C., Wen, S., Zeng, M., Guo, J., Zhong, J., ve Xu, X. (2022). A novel adaptive deskewing algorithm for document images. *Sensors*, 22(20), 7944.
- Bezmaternykh, P., ve Nikolaev, D. P. (2020, January). A document skew detection method using fast Hough transform. *Twelfth international conference on machine vision (ICMV 2019)*, Amsterdam, Netherlands.
- Boiangiu, C.-A., Dinu, O.-A., Popescu, C., Constantin, N., ve Petrescu, C. (2020). Voting-based document image skew detection. *Applied Sciences*, 10(7), 2236.
- Boudraa, O., Hidouci, W. K., ve Michelucci, D. (2020). Using skeleton and Hough transform variant to correct skew in historical documents. *Mathematics computers in simulation*, 167, 389-403.
- Boukharouba, A. (2017). A new algorithm for skew correction and baseline detection based on the randomized Hough Transform. *Journal of King Saud university-computer information sciences*, 29(1), 29-38.
- Cai, C., Meng, H., ve Qiao, R. (2021). Adaptive cropping and deskewing of scanned documents based on high accuracy estimation of skew angle and cropping value. *The Visual Computer*, 37, 1917-1930.
- Chen, C., Seo, H., Jun, C., ve Zhao, Y. (2022). A potential crack region method to detect crack using image processing of multiple thresholding. *Signal, Image Video Processing*, 16(6), 1673-1681.
- Chen, X., Meng, Y., Zhao, Y., Williams, R., Vallabhaneni, S. R., ve Zheng, Y. (2021, September). Learning unsupervised parameter-specific affine transformation for medical images registration. *Medical Image Computing and Computer Assisted Intervention–MICCAI 2021: 24th International Conference, Strasbourg, France, September 27–October 1, 2021, Proceedings, Part IV 24*, Strasbourg, France.
- Chen, Y., Bahaghighat, M., Kelishomi, A. E., ve Du, J. (2023). Radon CLF: A Novel Approach for Skew Detection Using Radon Transform. *Computer Systems Science Engineering*, 47(1).
- Chuang, C.-T., ve Lin, H.-S. (2021, October). A Effective Algorithm for Skew Correction in Text Images. *International Conference on Fuzzy Theory and Its Applications (iFUZZY)*, Taitung, Taiwan.
- Di Meo, G., Saggese, G., Strollo, A. G., ve De Caro, D. (2023). Design of Generalized Enhanced Static Segment Multiplier with Minimum Mean Square Error for Uniform and Nonuniform Input Distributions. *Electronics*, 12(2), 446.
- Doermann, D., Liang, J., ve Li, H. (2003, August). Progress in camera-based document image analysis. *Seventh International Conference on Document Analysis and Recognition*, Edinburgh, UK.
- Feng, H., Wang, Y., Zhou, W., Deng, J., ve Li, H. (2021). Doctr: Document image transformer for geometric unwarping and illumination correction. *arXiv preprint arXiv:12942*.
- Güvenoğlu, E. (2012). *Optik görüntü bozulmalarının yazılımla düzeltilmesi için bir yöntem*. (Doktora Tezi), Trakya Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Edirne.
- Güvenoğlu, E. (2018). Perspektiften Kaynaklanan Bozulmaların Geometrik Olarak Düzeltilmesi İçin Bir Yöntem. *Erzincan University Journal of Science Technology*, 11(2), 263-276.
- Güvenoğlu, E., ve Tunalı, V. (2023). ZigZag transform with Durstenfeld shuffle for fast and secure image encryption. *Connection Science*, 35(1), 2162000.
- Hu, J., Xiawu, L., Qiao, S., Tan, W., Yin, F., Liu, T., ve Han, N. (2022). Geometric correction method for Tibetan woodcut document images. *Multimedia Tools Applications*, 81(11), 15609-15632.
- Huang, K., Chen, Z., Yu, M., Yan, X., ve Yin, A. (2019). An efficient document skew detection method using probability model and q test. *Electronics*, 9(1), 55.
- Jiang, B., Liu, S., Xia, S., Yu, X., Ding, M., Hou, X., ve Gao, Y. (2015, November). Video-based document image scanning using a mobile device. *International Conference on Image and Vision Computing New Zealand (IVCNZ)*, Auckland, New Zealand.
- Jundale, T. A., ve Hegadi, R. S. (2015). Skew detection and correction of Devanagari script using Hough transform. *Procedia Computer Science*, 45, 305-311.
- Kaur, G., ve Kumar, A. (2023). Multi-level Image Enhancement for Text Recognition System using Hybrid Filters. *International Journal of Intelligent Systems Applications in Engineering*, 11(6s), 816–824-816–824.
- Khuman, Y. L. K., Devi, H. M., ve Singh, N. A. (2021). Entropy-based skew detection and correction for printed meitei/meetei script ocr system. *Materials Today: Proceedings*, 37, 2666-2669.

- Li, X., Liu, W., Fan, W., Sun, J., ve Satoshi, N. (2016, November). Perspective correction using camera intrinsic parameters. *13th International Conference on Signal Processing (ICSP)*, Chengdu, China.
- Li, X., Zhang, B., Sander, P. V., ve Liao, J. (2019, June). Blind geometric distortion correction on images through deep learning. *Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, Long Beach, CA, USA.
- Lu, X. X. (2018). A review of solutions for perspective-n-point problem in camera pose estimation. *Journal of Physics: Conference Series*, 1087(5), 052009.
- Luqman, M. M., Gomez-Krämer, P., ve Ogier, J.-M. (2014, August). Mobile phone camera-based video scanning of paper documents. *Camera-Based Document Analysis and Recognition: 5th International Workshop*, Washington, DC, USA.
- Mohammad, K., Qaroush, A., Washha, M., Agaian, S., ve Tumar, I. (2021). An adaptive text-line extraction algorithm for printed Arabic documents with diacritics. *Multimedia Tools Applications*, 80, 2177-2204.
- Mukhopadhyay, P., ve Chaudhuri, B. B. (2015). A survey of Hough Transform. *Pattern Recognition*, 48(3), 993-1010.
- Ouwayed, N., Belaid, A., ve Auger, F. (2009). Skew angle estimation of scanned handwritten Arabic documents using a time-frequency analysis of the projection histograms. *Traitement DU Signal*, 26(4), 307-319.
- Peake, G., ve Tan, T. (1997, October). A general algorithm for document skew angle estimation. *Proceedings of International Conference on Image Processing*, Santa Barbara, CA, USA.
- Postl, W. (1986, October). Detection of linear oblique structures and skew scan in digitized documents. *Proc. Int. Conf. on Pattern Recognition*, Paris, France.
- Romanengo, C., Biasotti, S., ve Falcidieno, B. (2022). Hough transform for detecting space curves in digital 3d models. *Journal of Mathematical Imaging and Vision*, 64(3), 284-297.
- Salagar, R., ve Patil, P. B. (2020, March). Application of RLSA for skew detection and correction in Kannada text images. *Fourth International Conference on Computing Methodologies and Communication (ICCMC)*, Erode, India.
- Singh, P., ve Sharma, D. V. (2023). Pre-Processing of Mobile Camera Captured Images for OCR. *International Journal of Intelligent Systems Applications in Engineering*, 11(2s), 147-155.
- Sonkusare, M., Gupta, R., ve Moghe, A. (2021). A Review on Character Segmentation Approach for Devanagari Script. *Intelligent Systems: Proceedings of SCIS*, 181-189.
- Teplyakov, L., Kaymakov, K., Shvets, E., ve Nikolaev, D. (2021, January). Line detection via a lightweight CNN with a Hough layer. *Thirteenth International Conference on Machine Vision*, Rome, Italy.
- Tinungki, G. M., ve Nurwahyu, B. (2020). The implementation of Google Classroom as the e-learning platform for teaching Non-Parametric Statistics during COVID-19 pandemic in Indonesia. *International Journal of Advanced Science Technology*, 29(4), 5793-5803.
- Trstenjak, B., Mikac, S., ve Trstenjak, J. (2018). The Framework for Fast Skew Angle Detection and Auto Correction Of Scanned Documents. *Annals of DAAAM Proceedings*, 29.
- Wu, L., Shang, Q., Sun, Y., ve Bai, X. (2019). A self-adaptive correction method for perspective distortions of image. *Frontiers of Computer Science*, 13(3), 588-598.
- Zheng, W., Yu, H., ve Lu, Z. (2021). Two-step affine transformation prediction for visual object tracking. *IEEE Access*, 9, 36512-36521.
- Zohrevand, A., Sadri, J., Imani, Z., ve Yeganezad, M. R. (2019, March). Line segmentation in Persian handwritten documents based on a novel projection histogram method. *4th International Conference on Pattern Recognition and Image Analysis (IPRIA)*, Tehran, Iran.